

光照度聚类和支持向量机在路灯节能控制策略中的应用

文俊浩¹ 万园¹ 曾骏¹ 王喜宾² 梁冠中¹

(重庆大学大数据与软件学院 重庆 401331)¹ (贵州理工学院大数据学院 贵阳 550003)²

摘要 传统路灯行业主要采用时间、经纬度、光照度等策略控制路灯开关。其中,光照度控制的理论节能效果最佳,但受采集数据误差、安装角度等环境因素影响,节能效果没有达到最大化。针对该问题,提出一种融合光照度聚类和支持向量机算法的路灯节能控制策略。该方法收集光照度、时间、安装角度数据,并使用 K-means 算法对光照度数据进行聚类,把原本变化剧烈的光照度数据变为 5 个等级(1—5),然后通过 SVM 对数据进行学习训练,在不考虑其他外在因素的情况下预测路灯的开关时间。实验研究结果表明,该算法可有效降低路灯的用电量。

关键词 支持向量机, K-means, 路灯节能, 光照度

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2019.07.050

Application of Illumination Clustering and SVM in Energy-saving Control Strategy of Street Lamps

WEN Jun-hao¹ WAN Yuan¹ ZENG Jun¹ WANG Xi-bin² LIANG Guan-zhong¹

(School of Big Data & Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 401331, China)¹

(School of Big Data, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China)²

Abstract The traditional street lighting industry mainly adopts the strategy of time, latitude and longitude, illumination and so on to control street lights, and the theory of illumination control has the best energy saving effect. However, due to the error of light collection, installation angle and other environmental factors, the energy saving effect has not been maximized. Aiming at this problem, this paper proposed a street lighting energy saving control strategy based on illumination clustering and support vector machine algorithm. This method collects the light intensity, time and installation angle data, and uses K-means algorithm to cluster the illumination data and changes the original light illumination data into 5 grades (from 1 to 5). Then, the data is trained by SVM, and the switching time of the street lamp is predicted without considering other external factors. The experimental results show that the algorithm can effectively reduce the power consumption of street lamps.

Keywords Support vector machine, K-means, Energy-saving of street lamp, Illumination

1 引言

城市路灯照明管理对国家节能减排起着重要作用。目前,关于路灯节能的研究主要集中在以下几个方面:1)改进照明灯具技术,例如从高压钠灯更换为 LED 节能灯^[1];2)使用清洁能源,如风能、太阳能^[2-4];3)改进路灯控制系统和控制策略^[5]。其中,路灯控制系统和控制策略主要从开关灯时间以及调节功率大小两个方面来实现节能。

在路灯开关灯时间控制方面,主要有 3 种方式:1)时间控制;2)经纬度控制;3)光照度控制。其中,光照度控制的节能效果最佳。

文献[1]对比了高压钠灯和 LED 灯的经济效益。在相同

照明效果的前提下,相比于高压钠灯,LED 灯的节电率超过了 50%;但是该方法仅仅通过改进灯具照明技术来实现节能,没有利用其他技术进一步提高节能效果。

文献[2-4]提出了使用太阳能 LED 路灯来达到节能的效果;但是由于太阳能充电量较小,其照明亮度达不到城市主干道的要求,仅能用于乡村、市郊等区域。

文献[5]从路灯控制系统的角度来提高节能效果,主要采用手动设置时间、根据经纬度计算日出和日落时间两种方式来控制路灯。虽然这两种方式都能提升节能效果,降低人力成本;但是并不能根据实际的天气状况灵活调节,没有达到最佳的节能效果。

文献[6-7]使用传感器探测自然光照度等环境数据来统

一调控路灯开关。该系统虽然使得路灯更加便于管理,但是其传感数据,如光照度等,易受粉尘、闪电、汽车灯光、落叶等环境因素干扰,从而影响节能效果。

针对上述研究存在的问题,本文拟改进光照度控制系统,同时借鉴其他科技工作者在工业领域内应用 SVM 的思路和方法^[8-10],将 Support Vector Machine(SVM)算法应用在光照度的采集、分析以及控制路灯的策略上,以增强光照度控制系统的稳定性和节能效果。

首先,收集数据(光照度,时间(h),时间(min),安装角度),并对所有数据标注(开/关灯状态);然后,利用 K-means 聚类算法对光照度数据进行聚类,再使用核函数将数据映射到高维空间,通过这种空间转换,可使得支持向量机易于对数据进行处理和分类;接着,对数据进行训练,得到一个合适的模型;最后,通过实验来比较时控系统、光控系统以及本文提出的基于 SVM 的路灯节能算法的用电量。实验结果表明,本文提出的路灯节能控制策略能够有效降低路灯的用电量。

2 技术理论

2.1 路灯系统架构

如图 1 所示,本文实验是基于路灯控制系统的^[9]。光照度传感器采集数据,并通过采集设备将数据上传至服务器;服务器再综合判断路灯的开、关状态。

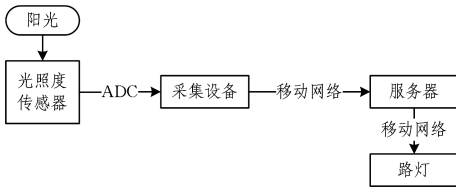


图 1 路灯控制系统的框架

Fig. 1 Architecture of road lamp control system

2.2 K-means 算法

K-means 算法是十分典型的基于距离的聚类算法,采用距离作为相似性的评价指标,即认为两个对象的距离越近,其相似度就越大。该算法认为簇是由距离靠近的对象组成的,因此把得到紧凑且独立的簇作为最终目标。

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} (x_j - u_i)^2 \tag{1}$$

k 个初始聚类中心点的选取对聚类结果具有较大的影响,因为在该算法第一步中是随机地选取任意 k 个对象作为初始聚类的中心。该算法在每次迭代中,计算数据集中剩余的每个对象与各个簇中心的距离,再将对象重新赋给最近的簇。当考查完所有数据对象后,一次迭代运算完成便计算出一个新的聚类中心。如果在一次迭代前后, J 的值没有发生变化,则该算法已收敛。

2.3 支持向量机

SVM 由 Vapnik 领导的 AT&T Bell 实验室研究小组于 1995 年提出,是一种二分类模型。它的基本模型是定义在特征空间上的间隔最大的线性分类器。

SVM 使用一条直线将所有的点分成两边。这条直线被

称为分隔超平面(separating hyperplane),可用如下线性方程描述:

$$w^T x + b = 0 \tag{2}$$

其中, w 为法向量,决定了超平面的方向; b 为位移项,决定了超平面与原点之间的距离。离分隔超平面最近的那些点被称为支持向量(support vector)。两个异类支持向量到超平面的距离之和被称为间隔(margin),表示为:

$$\gamma = \frac{2}{\|w\|} \tag{3}$$

其中, γ 代表两个异类支持向量到超平面的距离之和。欲找到具有“最大间隔”(maximum margin)的分隔超平面,即最大化 $\|w\|^{-1}$,求解:

$$\min_{w,b} \frac{1}{2} \|w\|^2 \tag{4}$$

$$\text{s. t. } y_i (w^T x_i + b) \geq 1, i = 1, 2, \dots, m$$

求解出模型参数 w 和 b ,即可找到对应模型。这就是 SVM 的基本型。

为了使运算更简单,使用拉格朗日乘子法得到其对偶问题(dual problem):

$$\max_{\alpha} \sum_{i=1}^m \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i^T x_j \tag{5}$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i = 0$$

其中, α_i 为拉格朗日乘子。解出 α 后,求出 w 与 b 即可得到模型:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i x_i^T x + b \tag{6}$$

3 将光照度聚类与 SVM 应用于路灯节能的算法策略

使用 SVM 的一般步骤为:1)收集与分析数据;2)选择核函数;3)训练算法;4)通过实验测试算法。

在分析数据过程中发现,光照度数值(0~100000)的剧烈变化易对训练结果产生影响,从而导致精确率偏低。因此本文采用 K-means 算法首先对光照度数据进行聚类,划分光照度等级为 1,2,⋯,N 的阶梯数据,以提升最终预测的精确率和召回率,流程如图 2 所示。

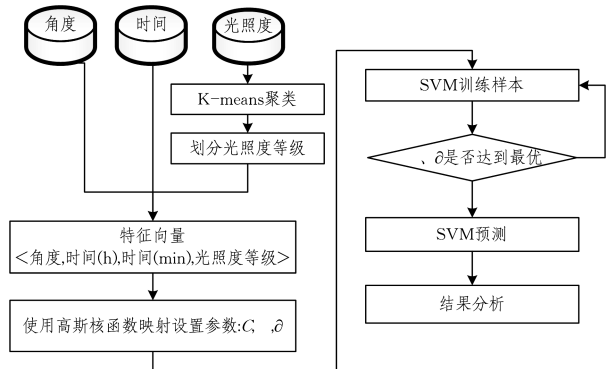


图 2 算法的流程

Fig. 2 Process of algorithm

3.1 收集与分析数据

本文数据集来自重庆绿色科技智慧城市建设有限公司收

集的真实路灯控制数据。经过分析筛选,选取特征(光照度,时间(h),时间(min),安装角度),原因如下:

1)光照度(传感器采集)是影响路灯开关最主要的因素,作为最主要的特征输入(通常为0~100000 Lux)。

2)时间是影响路灯开关的因素之一。太阳每天从东方升起,从西方落下,呈现一定的规律性,因此本文只使用一天当中的某一时刻作为特征输入。

3)传感器的安装角度也会影响到它采集的光照度。在相同的位置,正面朝上的传感器与背面朝上的传感器所采集到的光照度可能截然不同。数据集中使用+1代表正面朝上,用-1代表背面朝上。

3.2 使用 K-means 算法对光照度数据聚类

将数据(光照度,时间(h),时间(min),安装角度)从数据库中提取出来,然后使用 K-means 算法对光照度数据进行聚类分级。

由于光照度数据的变化范围过大(0~100000),易对训练产生影响,因此本文对光照度进行聚类分组。鉴于 K-means 聚类速度快,算法结构简单,本文采用 K-means 对所有光照度数据进行聚类,寻找合适的分组,步骤如下:

Step1 统计所有光照度数据,找出中位数最多的前 k 个数据,将其初始化为聚类的初始质心。

Step2 遍历所有数据,利用式(7)计算所有其他光照度到各个质心的距离,根据距离的大小将各个光照度划分至与其距离最近的质心所在的簇中:

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} |c_i - x|^2 \quad (7)$$

其中, c_i 为每簇的质心, x 为每个用户的评分。

Step3 重新计算 k 个簇的质心,簇中所有对象值的中心即为质心,计算公式如下:

$$c_i = \frac{1}{m} \sum_{x \in C_i} x \quad (8)$$

其中, c_i 为每簇的质心, m 为每簇中光照度的个数, x 为每个光照度的数值。

Step4 重复 Step2 和 Step3,经过多次迭代计算和反复调整,最终将数据对象划分到 k 个簇中,直到质心不再发生变化为止。

3.3 使用高斯核函数

如图3所示,数据分布到三维坐标系中后,呈现出了类似于高斯曲线的特征,因此本文选择高斯核函数:

$$K(x, z) = \exp\left(-\frac{\|x - z\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (9)$$

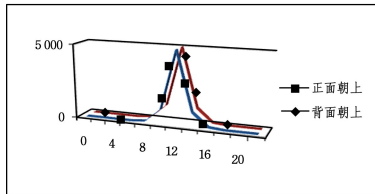


图3 光照度数据分布

Fig. 3 Illumination data distribution

该核函数对应的支持向量机是高斯径向基函数(radial basis function)分类器。在此情况下,分类决策函数为:

$$f(x) = \text{sign}\left(\sum_{i=1}^{N_s} a_i^* y_i \exp\left(-\frac{\|x - z\|^2}{2\sigma^2}\right) + b^*\right) \quad (10)$$

3.4 使用序列最小优化(SMO)算法对数据集进行训练

最初使用二次规划求解工具来求解 SVM 的最优化问题,直到1996年John Platt发布了一种被称为SMO(序列最小优化)的算法。该算法将大优化问题分解为多个小优化问题,这些小优化问题往往很容易求解,并且对它们进行顺序求解的结果与将它们作为整体来求解的结果完全一致,同时求解时间更短。

算法1 SMO

输入:训练数据集 $T = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)\}$, 其中, $x_i \in \mathcal{R}^n$, $y_i \in \{-1, +1\}$, $i = 1, 2, \dots, N$, 精度 ϵ

输出:近似解 $\hat{\alpha}$

- 1)取初值 $\alpha^{(0)} = 0$, 令 $k = 0$ 。
- 2)选取优化变量 $\alpha_1^{(k)}, \alpha_2^{(k)}$, 解析求解两个变量的最优化问题,求得最优解 $\alpha_1^{(k+1)}, \alpha_2^{(k+1)}$, 更新 α 为 $\alpha_2^{(k+1)}$ 。
- 3)若在精度 ϵ 范围内满足停机条件:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i = 0 \\ 0 \leq \alpha_i \leq C, i = 1, 2, \dots, N \\ y_i * g(x_i) \begin{cases} \geq 1, & \{x_i | \alpha_i = 0\} \\ = 1, & \{x_i | 0 < \alpha_i < C\} \\ \leq 1, & \{x_i | \alpha_i = C\} \end{cases} \end{cases} \quad (11)$$

其中:

$$g(x_i) = \sum_{j=1}^N \alpha_j y_j K(x_j, x_i) + b \quad (12)$$

则转步骤4);否则令 $k = k + 1$, 转步骤2)。

- 4)取 $\hat{\alpha} = \alpha^{(k+1)}$ 。

4 实验及结果分析

为了验证本文提出的基于 SVM 的路灯节能算法的性能,以及该算法应用于路灯上的节能效果,本文基于真实数据集进行了4个实验。

实验1 利用 K-means 算法对光照度数据进行聚类,使其分为若干等级,以避免光照度的变化范围过大而对预测产生负面影响。

实验2 为了避免过拟合问题,利用本文所提算法对不同时间间隔下的数据进行训练和预测,寻找出合适的数据间隔时间。

实验3 计算 Decision Tree(DT), Random Forest(RF)以及基于 SVM 的路灯节能算法的精确率和召回率,通过比较发现本文所提方法的精确率和召回率较高。

实验4 对比了路灯照明的时控开关、光控开关以及本文提出的基于 SVM 的路灯节能算法使用3种方法控制路灯的用电情况,结果发现本文所提算法的电量耗费较低。

4.1 数据集

实验数据来自重庆绿色科技智慧城市建设有限公司收集

的真实路灯控制数据。该数据集包含不同路段、不同地理位置的开关灯时间。

数据包含了3个特定路段的光照度、时间、安装角度以及开关灯状态。该公司在3个路段各安装了一个光照度采集设备,并通过互联网将数据实时传输回服务器中存储,再通过其官方网站发布出来。

实验数据采集自2018年1月15日至2月15日。每隔5 min采集一次。3个设备在30天内总共采集 $3 \times 12 \times 24 \times 30 = 64800$ 条数据。经过处理后的数据如表1所列。

表1 数据集说明
Table 1 Description of dataset

数据集	字段大小	备注
数据总数	64800条	64800条
开关灯状态	-1,+1	分别代表关灯、开灯
光照度	0~200000	代表光照度大小
时间/h	0~23	分别代表一天的每一小时
时间/min	0,10,20,30,40,50	分别代表一小时的分钟数
安装角度	-1,+1	分别代表反面、正面

4.2 评价指标

实验3中,衡量DT,RF,SVM3种算法的标准为精确率(Precision)和召回率(Recall)。其计算公式如下:

$$Pr = \frac{TP}{TP + FP} \quad (13)$$

$$Re = \frac{TP}{TP + FN} \quad (14)$$

其中, Pr 是精确率; TP 是把正类预测为正类的数量; FP 是把负类预测为正类的数量; FN 是把正类预测为负类的数量。 Pr 和 Re 越大,预测效果越好。

在实验4中,首先通过时控开关、光控开关以及本文提出的基于SVM的路灯节能算法计算出每天的平均开灯时间(Average Time per Day, ATD),公式如下:

$$ATD = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \quad (15)$$

其中, ATD 是每天的平均开灯时间, T_i 是第*i*天的开灯时间, N 是总的开灯天数。

假设所有路灯的功率相同,计算平均每个路灯的用电量:

$$W = P \times ATD \quad (16)$$

其中, W 指总的电能消耗, P 指功率。 W 越小,则节能效果越好。

4.3 实验分析

1)实验1利用K-means算法将所有光照度数据进行聚类,分别设置簇数为0,5,10,15;然后将光照度分成对应的等级,形成新的特征数据(光照度等级,时间(h),时间(min),安装角度)。其中,光照度等级的取值范围由簇数决定(如簇数为5时,则光照度等级的取值为1~5)。

将数据集分为训练集和测试集(随机抽取数据80%作为训练集,剩下的20%作为测试集),设常数*C*为1.0,*epsilon*为0.001,采用SVM对数据进行4次训练和测试,结果如图4和图5所示。

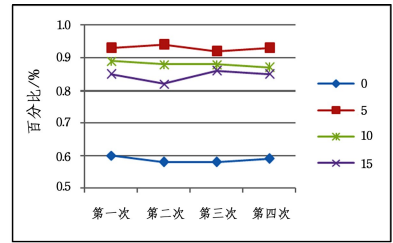


图4 不同簇数下的精确率结果

Fig. 4 Results of precision values for different clusters

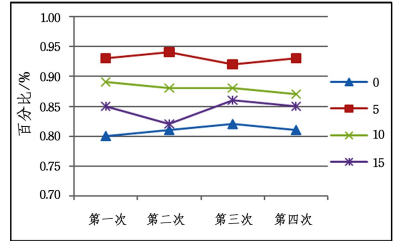


图5 不同簇数下的召回率结果

Fig. 5 Results of recall values for different clusters

由图4、图5可以看出,由于每次计算的数据集和训练集都是随机的,因此 Pr 和 Re 的结果都不相同。

在图4中,当簇数取值从0开始增加时, Pr 升高;当取簇数为5时, Pr 达到最大值,然后开始下降。其原因在于,决定SVM最优分隔超平面的是那些占少数的支持向量,如果支持向量中碰巧存在异常点,那么SVM拟合数据所得的超平面就不是最优的。当图4中的簇数超过5时,每簇下的光照度数据量过少,SVM对每簇建模的支持向量中存在异常点,计算出的分隔超平面不是最优的,从而导致 Pr 下降。图5中 Re 的结果与图4中的 Pr 类似。

2)实验2,在利用K-means算法对光照度进行聚类并设定簇数为5的条件下,设定每条数据的时间间隔为5 min,10 min,30 min,60 min,再使用SVM对数据进行训练和测试(常数*C*为1.0,*epsilon*为0.001),结果如图6和图7所示。

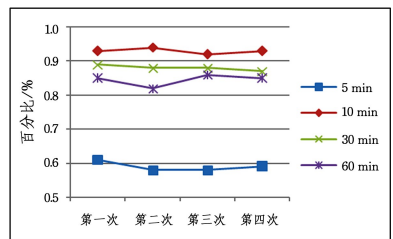


图6 不同时间间隔下的精确率结果

Fig. 6 Results of precision values for different time slip

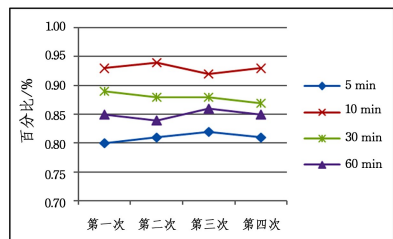


图7 不同时间间隔下的召回率结果

Fig. 7 Results of recall values for different time slip

通过分析图 6 和图 7 中不同时间间隔下的精确率和召回率的变化趋势可知;时间间隔为 10 min 时,算法的效果最佳。还可以看出,时间间隔过小会导致数据过拟合问题;但是如果时间间隔过大,将不能准确预测开、关路灯的时间。

3)实验 3 设置光照度聚类簇数为 5,时间间隔为 10 min,采用 DTID3 算法、RF 以及本文基于 SVM 的路灯节能算法分别进行了仿真实验。不同算法的精确率 Pr 和召回率 Re 的比较结果如图 8 和图 9 所示。

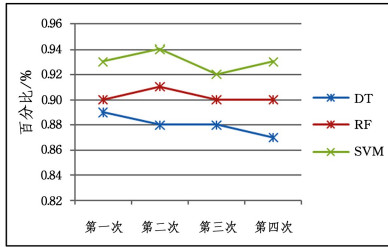


图 8 不同训练集和测试集下各算法的 Precision 值的比较

Fig. 8 Comparison of Precision values for different algorithms on different training set and testing set

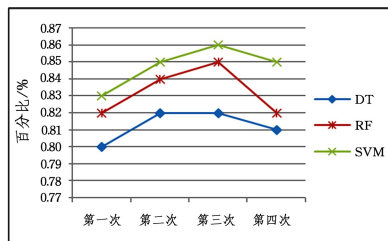


图 9 不同训练集和测试集下各算法的 Recall 值的比较

Fig. 9 Comparison of Recall values for different algorithms on different training set and testing set

由图 8 和图 9 中 DT,RF,SVM 的 Precision 和 Recall 值的变化趋势可知,SVM 的预测效果相对较好。

4)在实验 4 中,采用时控开关、光控开关以及本文提出的基于 SVM 的路灯节能算法进行比较,并计算平均时间 ATD 。在路灯功率相同的情况下,计算出单灯平均每天的用电量 W 。

2018 年 1 月 15 日至 2 月 15 日,3 个数据采集设备所在地定时开关的开关灯时间、光照度阈值的信息如表 2 所列。

表 2 定时控制和光照度阈值表

Table 2 Sheet of time controlling and illuminance threshold

区域	开灯时间	关灯时间	光照度阈值/Lux
A	18:15	7:30	100
B	18:20	7:30	50
C	18:15	7:40	80

①时控开关控制的单灯平均每天的用电量的计算公式为:

$$W = PT_1 \tag{17}$$

其中, W 是电能, P 为功率, T_1 为定时控制中路灯每天打开的时间。

②开关的单灯平均每天的用电量的计算公式为:

$$T_2 = \frac{I \times \sum_{i=1}^n t_i}{N}, \begin{cases} t_i = 0, & IV_i > IT \\ t_i = 1, & IV_i \leq IT \end{cases} \tag{18}$$

$$W = PT_2$$

其中, T_2 代表光控开关平均每天的开灯时间; I (Interval)代表数据之间的时间间隔; N 代表总的天数; n 代表数据总量; IV_i 代表第 i 条数据的光照度; IT 代表光照度阈值。

③本文提出的基于 SVM 的路灯节能算法控制的单灯平均每天的用电量的计算公式为:

$$T_2 = \frac{I \times \sum_{i=1}^n t_i}{N}, \begin{cases} t_i = 0, & f(x_i) = -1 \\ t_i = 1, & f(x_i) = +1 \end{cases} \tag{19}$$

其中, x_i 代表第 i 组特征向量, $f(x_i)$ 代表基于 SVM 路灯节能算法的预测结果。

实验结果如图 10 所示。

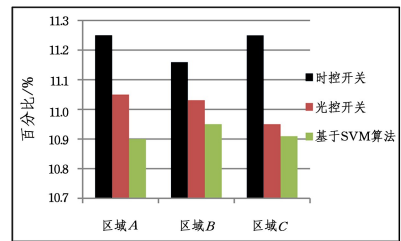


图 10 同设备(区域)下不同控制方式的平均开灯时间的比较

Fig. 10 Comparison of average time for different control method and different device or area

由图 10 可知,使用基于 SVM 的路灯节能算法可有效降低路灯的用电量。

结束语 针对路灯系统的光照度控制策略易受粉尘、闪电、汽车灯光、落叶等环境因素影响的问题,本文利用 K-means 聚类算法对光照度值进行聚类,再使用高斯核函数将数据映射到高维空间,并使用 SVM 训练数据得到一个合适的模型,以此来预测开关灯时间。实验结果表明,该方法能够降低环境因素的影响,提升路灯的节能效果。

但是由于路灯管理的(具体因素)实际因素复杂多变,仍有许多问题需要进一步研究解决。本文的研究还可以在以下几个方面进行扩展:

- 1)结合多种传感器数据(如雨水、温度、湿度、PM2.5 等),使得模型更加适应复杂的气象变化;
- 2)采用一年四季的数据,包括对节假日大车流量的特殊处理,使得学习系统更加全面和成熟;
- 3)通过学习车流量等数据实现路灯功率的无级调节。

参 考 文 献

[1] RODRIGUES C, ALMEIDA P S, SOARES G M, et al. An experimental comparison between different technologies arising for public lighting: LED luminaires replacing high pressure sodium lamps[C]// IEEE International Symposium on Industrial Electronics, IEEE, 2011: 141-146.

[2] BAE K Y, HAN S J, DAN K S. Hourly Solar Irradiance Predic-

- tion Based on Support Vector Machine and Its Error Analysis [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2017, PP(99): 1-1.
- [3] KIM H C. Development of a stand-alone solar street light controller integrated[J]. Ecological Entomology, 2014, 9(6): 641-647.
- [4] AHMED S, ZENAN A H, TASNEEM N, et al. Design of a solar powered LED street light: Effect of panel's mounting angle and traffic sensing[C]// Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology. IEEE, 2013: 74-79.
- [5] ZHANG X H, KANG P H, ZHANG X, et al. Intelligent Street Lamp Energy Saving System Based on ZigBee[C]// Fifth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control. IEEE, 2016: 786-789.
- [6] LECCESE F. Remote-Control System of High Efficiency and Intelligent Street Lighting Using a ZigBee Network of Devices and Sensors[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2012, 28(1): 21-28.
- [7] HAO G F, LI W C, LIU C L, et al. Research and Design of Intelligent Energy-Saving Control Device for Streetlamp[J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 701-702: 816-819.
- [8] NGUYEN H N, LEE H H. An Effective SVM Method for Matrix Converters With a Superior Output Performance[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018, 65(9): 6948-6958.
- [9] CHANDRASEKHAR A M, RAGHUVVEER K. Intrusion detection technique by using k-means, fuzzy neural network and SVM classifiers[C]// International Conference on Computer Communication and Informatics. IEEE, 2013: 1-7.
- [10] LIU H. Internet Public Opinion Hotspot Detection and Analysis Based on Kmeans and SVM Algorithm[C]// International Conference of Information Science and Management Engineering. IEEE Computer Society, 2010: 257-261.
- [11] CUI G M, SUN T, ZHANG Y. Application of SVM in Prediction of Hot Metal Temperature in Blast Furnace[J]. Control Engineering, 2013, 20(5): 809-812. (in Chinese)
崔桂梅, 孙彤, 张勇. 支持向量机在高炉铁水温度预测中的应用[J]. 控制工程, 2013, 20(5): 809-812.
- [12] ORTEGA J L G, HAN L, WHITTACKER N, et al. A machine-learning based approach to model user occupancy and activity patterns for energy saving in buildings[C]// Science and Information Conference. IEEE, 2015: 474-482.
- [13] WAN X C, LIANG L X, LU X J. Research and Design of Street Lamp Energy-Saving Control System Based on GPRS[J]. Automation & Instrumentation, 2012(2): 62-63. (in Chinese)
万乡才, 梁龙学, 吕晓剑. 基于 GPRS 的路灯节能控制系统的研究与设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2012(2): 62-63.
- [14] KANG S H, SANDBERG B, YIP A M. A regularized k-means and multiphase scale segmentation[J]. Inverse Problems & Imaging, 2017, 5(2): 407-429.
- [15] KEERTHI S S, SHEVADE S K, BHATTACHARYYA C, et al. Improvements to Platt's SMO Algorithm for SVM Classifier Design[J]. Neural Computation, 2014, 13(3): 637-649.
- [17] WANG Z W, SUN J J, YU Z Y, et al. Research on remote sensing image classification based on support vector machine[J]. Computer Science, 2016, 43(9): 11-17. (in Chinese)
王振武, 孙佳骏, 于忠义, 等. 基于支持向量机的遥感图像分类研究综述[J]. 计算机科学, 2016, 43(9): 11-17.
- [18] WEN J H, SUN G H, LI S. Research on matrix decomposition recommendation algorithm based on user clustering and mobile context [J]. Computer Science, 2018, 45(4): 215-219. (in Chinese)
文俊浩, 孙光辉, 李顺. 基于用户聚类 and 移动上下文的矩阵分解推荐算法研究[J]. 计算机科学, 2018, 45(4): 215-219.